包膜酸化剂和小肽螯合铁对夏季蛋鸡生产性能、蛋黄中微量元素含量及血清免疫和抗氧化指标的影响

罗　玲[1]　曲湘勇[1*]　韩奇鹏[1]　曹冬梅[2]　孙安权[2]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128；2.奥格生物技术（上海）有限公司，上海 201203）

摘　要：本试验旨在研究包膜酸化剂和小肽螯合铁及其交互作用对夏季产蛋高峰期蛋鸡生产性能、蛋黄中微量元素含量以及血清免疫和抗氧化指标的影响。试验采用 2×4 双因子完全随机试验设计，其中饲粮中包膜酸化剂设 2 个添加水平，小肽螯合铁设 4 个添加水平。选用 576 只 38 周龄健康罗曼粉壳蛋鸡，随机分成 8 个组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。A、B、C 和 D 组饲粮分别在基础饲粮中添加 0 mg/kg 包膜酸化剂以及 0（对照组）、0.04%、0.08%和 0.12%小肽螯合铁（铁含量分别为 0、60、120 和 180 mg/kg）；E、F、G 和 H 组饲粮分别在基础饲粮中添加 300 mg/kg 包膜酸化剂以及 0、0.04%、0.08%和 0.12%的小肽螯合铁（铁含量分别为 0、60、120 和 180 mg/kg）。预试期 1 周，正试期 6 周。结果表明：1）包膜酸化剂和小肽螯合铁及其交互作用对第 3 周和第 6 周蛋鸡的平均日采食量、产蛋率和料蛋比均无显著影响（P>0.05）。G 组第 3 周和第 6 周的平均日采食量均显著高于对照组和 C、D 组（P<0.05）；B 组第 6 周的产蛋率显著高于对照组和 D、E 组（P<0.05），且料蛋比显著低于 D 组（P<0.05）。包膜酸化剂对第 3 周末蛋鸡的蛋重、第 6 周末的蛋黄指数和哈氏单位有显著影响（P<0.05）；小肽螯合铁对第 6 周末的蛋黄指数有显著影响（P<0.05），小肽螯合铁和包膜酸化剂的交互作用对第 6 周末的蛋黄指数有极显著影响（P<0.01），对第 6 周末的哈氏单位有显著影响（P<0.05）。第 3 周末，G 组的蛋重显著高于 B 组（P<0.05），G 和 H 组的蛋黄指数显著高于 C 组（P<0.05）；第 6 周末，C、D 和 G 组的蛋重显著高于对照组

收稿日期：2016-09-04

基金项目：湖南农业大学产学研合作项目（11110，13098）

作者简介：罗　玲（1992–），女，湖南娄底人，硕士研究生，研究方向为家禽生产科学与饲料营养。E-mail: 870026006@qq.com

*通信作者：曲湘勇，教授，博士生导师，E-mail: quxy99@126.com

（$P<0.05$），F组的蛋黄指数显著高于C、D和E组（$P<0.05$），E、F和G组的哈氏单位显著高于D组（$P<0.05$）。2）小肽螯合铁及包膜酸化剂和小肽螯合铁的交互作用对第3周和第6周末蛋鸡蛋黄中铁元素含量有极显著影响（$P<0.01$）。B、C、D、F、G和H组第3周和第6周末蛋黄中铁元素含量极显著高于对照组和E组（$P<0.01$），且H组第3周末蛋黄中铁元素含量极显著高于B和F组（$P<0.01$）；H组第3周末蛋黄中锌元素含量显著高于F组（$P<0.05$），B组第6周末蛋黄中锌元素含量显著高于D组（$P<0.05$）。3）包膜酸化剂对蛋鸡血清中总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性有极显著影响（$P<0.01$），对血清丙二醛（MDA）含量有显著影响（$P<0.05$）；包膜酸化剂和小肽螯合铁的交互作用对血清T-SOD活性有极显著影响（$P<0.01$）。C组血清免疫球蛋白M（IgM）含量显著高于对照组（$P<0.05$），D、E、F、G和H组血清T-SOD活性极显著高于对照组（$P<0.01$）；B、F和G组血清MDA含量显著低于对照组和E组（$P<0.05$）。综合考虑，饲粮中单独添加0.04%和0.08%的小肽螯合铁或与300 mg/kg包膜酸化剂复合添加均有利于维持和延长蛋鸡夏季的产蛋高峰期，改善蛋品质，增加蛋中铁元素的富集，增强机体抗氧化能力。

关键词：产蛋鸡；包膜酸化剂；小肽螯合铁；生产性能；蛋黄中微量元素含量；免疫和抗氧化指标

中图分类号：S831

饲粮中营养素之间的交互作用即协同或拮抗一直是动物营养学的研究重点之一。大量研究证实，酸化剂与酶制剂、益生菌、寡糖等添加剂进行合理配伍表现出理想的使用效果[1-4]。酸化剂适口性好，通过降低饲粮pH，促进胃内酶原活化，调节肠道微生态平衡，预防动物肠道病原微生物疾病，促进矿物质元素和维生素等营养素消化吸收，增强免疫，缓解应激[5-6]。关于酸化剂和小肽螯合铁配伍的研究尚未见报道。包膜酸化剂具有缓释和持续酸化的特点，比未包被酸化剂更稳定有效。蛋鸡对铁元素的需求量比较大，主要是满足母体自身以及孵化中胚胎生长发育对铁元素的需求，饲粮中的铁元素能有效地在蛋中沉积而不影响蛋中其他营养成分，且对蛋鸡无负面影响[7-8]。美国NRC(1994)[9]建议家禽饲粮中铁元素含量为50~120 mg/kg，耐受量为2 000 mg/kg。目前所使用的铁元素添加剂已由无机铁发展到有机铁，而小肽螯合铁稳定性和安全性好，铁元素以小肽的形式被肠道黏膜快速整合吸收，吸收利用率和生物学效价比有机铁更高，对提高畜禽的生产性能和减少环境污染都具有重要的意义[10-12]。

本试验通过在夏季产蛋高峰期蛋鸡饲粮中添加小肽螯合铁与包膜酸化剂，研究两者及其交互作用对蛋鸡生产性能、蛋黄中微量元素含量及血清免疫和抗氧化指标的影响，探讨小肽螯合铁在蛋中富集的规律及其与包膜酸化剂的交互作用，为进一步研究小肽螯合铁在畜禽生产中的应用及饲粮中营养素的交互作用积累经验，同时也为开发蛋鸡健康养殖技术和高效、安全的功能性富铁鸡蛋提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

包膜酸化剂：由深圳市威尔潞威生物技术有限公司提供，其水分≤10%，有效成分中乳酸≥200 g/kg，富马酸≥150 g/kg，柠檬酸≥150 g/kg，*L*-苹果酸≥20 g/kg。

小肽螯合铁：由奥格生物技术有限公司提供，为含有 2~3 个氨基酸的大豆小肽螯合型微量元素（螯合率≥95%），铁元素≥15%，水分≤10%。

1.2　试验设计与饲养管理

试验于 2015 年 6—7 月在湖南天心黄鸡育种有限公司鸡场进行。选用 576 只 38 周龄、体重和生产性能相近的健康罗曼粉壳蛋鸡，随机分成 8 个组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。A、B、C 和 D 组饲粮分别在基础饲粮中添加 0 mg/kg 包膜酸化剂以及 0（对照组）、0.04%、0.08%和 0.12%小肽螯合铁（铁元素含量分别为 0、60、120 和 180 mg/kg）；E、F、G 和 H 组饲粮分别在基础饲粮中添加 300 mg/kg 包膜酸化剂以及 0、0.04%、0.08%和 0.12%的小肽螯合铁（铁元素含量分别为 0、60、120、180 mg/kg）。预试期 1 周，正试期 6 周。参照《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）[13]和 NRC（1994）[9]家禽营养需要量配制蛋鸡产蛋高峰期基础饲粮，其组成及营养水平见表 1。试验蛋鸡采用上、中、下 3 层阶梯式笼养，各重复均匀分布于鸡舍同列各层，鸡舍温度为 24~32 ℃，相对湿度为 75%~85%，自由采食和饮水，每天 16 h 光照时间（自然光照加人工光照），按常规管理程序进行。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	64.00
豆粕 Soybean meal	24.00
石粉 Limestone	7.00
预混料 Premix[1)]	5.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/（MJ/kg）	11.53
粗蛋白质 CP	16.54
钙 Ca	3.52
有效磷 AP	0.36
赖氨酸 Lys	0.74
蛋氨酸 Met	0.38
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.67

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 6 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 25 IU，VK_3 2.25 mg，VB_{12} 0.18 mg，VB_6 4 mg，VB_2 5.5 mg，VB_1 1.75 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，植酸酶 phytase 400 U，生物素 biotin 0.14 mg，烟酸 nicotinic acid 34 mg，叶酸 folic acid 0.8 mg，胆碱 chloride 350 mg，食盐 NaCl 3.7 g，Ca 5 g，P 1 g，Cu 7.5 mg，Se 0.15 mg，Fe 75 mg，Zn 60 mg，Mn 60 mg，I 0.35 mg。

[2)]营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生产性能

正试期内每日按重复记录各组采食量、产蛋数、蛋重、软破壳蛋数及存活鸡数，并按周计算平均日采食量、产蛋率及料蛋比。试验第 3 周和第 6 周末，每组采集 12 枚鸡蛋，用于蛋品质测定。蛋重采用分析天平测定，蛋黄指数采用游标卡尺测定，哈氏单位采用蛋品质分析仪（Egg Analyzer，Orka Technology Ltd.）测定。

1.3.2 蛋黄中微量元素含量

试验期第 3 周和第 6 周末，每组采集 12 枚鸡蛋，置于 4 ℃冰箱保存，用于蛋黄中微量元素的测定。蛋黄中铁、锌、铜和锰元素含量参照 GB/T 5009.90—2003[14]和 GB/T

9695.20—2008[15]，采用火焰原子吸收光谱法测定。蛋黄预处理采用湿消化法，测定前按照火焰原子吸收仪器（SP-AA3800）操作说明先进行标准液配制和操作，用于绘制标准曲线。

1.3.3 血清免疫和抗氧化指标

试验结束后，08:00 从每组选取 12 只鸡（每个重复 2 只），翅静脉采血 5 mL，倾斜静置 30 min 后，于 3 000 r/min 离心 10 min，吸取上清液 0.5~1.0 mL，分装于 1.5 mL 离心管中，标记组别和日期，置于–20 ℃冰箱保存，用于测定血清免疫和抗氧化指标。血清谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性及总抗氧化能力（T-AOC）和丙二醛（MDA）含量使用酶标仪（Multiskan GO）、离心机、恒温水浴箱、快速混匀器等仪器测定，试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。血清免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 A（IgA）和免疫球蛋白 M（IgM）含量采用全自动生化分析仪（迈瑞 BS-200）及配套试剂测定。

1.4 数据统计与分析

试验数据用 SAS 9.2 软件中 GLM 程序进行方差分析，组间采用 Duncan 氏法进行多重比较。试验结果以平均值表示。

2 结果与分析

2.1 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，包膜酸化剂和小肽螯合铁及其交互作用对第 3 周和第 6 周蛋鸡的平均日采食量、产蛋率和料蛋比均无显著影响（P>0.05）。G 组第 3 周和第 6 周的平均日采食量均显著高于对照组和 C、D 组（P<0.05）；B 组第 6 周的产蛋率显著高于对照组和 D、E 组（P<0.05），且料蛋比显著低于 D 组（P<0.05）。包膜酸化剂对第 3 周末蛋鸡的蛋重、第 6 周末的蛋黄指数和哈氏单位有显著影响（P<0.05）；小肽螯合铁对第 6 周末的蛋黄指数有显著影响（P<0.05），小肽螯合铁和包膜酸化剂的交互作用对第 6 周末的蛋黄指数有极显著影响（P<0.01），对第 6 周末的哈氏单位有显著影响（P<0.05）。第 3 周末，G 组的蛋重显著高于 B 组（P<0.05），G 和 H 组的蛋黄指数显著高于 C 组（P<0.05）；第 6 周末，C、D 和 G 组的蛋重显著高于对照组（P<0.05），F 组的蛋黄指数显著高于 C、D 和 E 组（P<0.05），E、F 和 G 组的哈氏单位显著高于 D 组（P<0.05）。

表 2 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of coated acidifier and small peptide chelate iron on performance of laying hens

组别 Groups		平均日采食量 ADFI/g	产蛋率 Laying rate/%	料蛋比 Feed/egg	蛋重 Egg Weight/g	蛋黄指数 Yolk index	哈氏单位 Haugh unit
第 3 周 The 3rd week							
A		111.62^{b}	93.02	1.94	59.39^{ab}	0.37^{ab}	65.03
B		115.68^{ab}	96.15	1.93	56.94^{b}	0.37^{ab}	63.74
C		110.00^{b}	90.32	1.96	59.09^{ab}	0.35^{b}	69.84
D		110.27^{b}	90.40	2.00	57.38^{ab}	0.37^{ab}	68.77
E		112.48^{ab}	92.86	1.96	59.71^{ab}	0.37^{ab}	68.60
F		116.09^{ab}	94.60	2.01	60.12^{ab}	0.36^{ab}	71.69
G		119.92^{a}	92.78	2.06	61.30^{a}	0.38^{a}	71.29
H		113.57^{ab}	94.29	1.95	58.91^{ab}	0.38^{a}	60.52
SEM		2.48	2.62	0.06	1.21	0.01	3.98
P 值 *P*-value	小肽螯合铁 Small peptide chelate iron	0.301	0.484	0.790	0.308	0.645	0.436
	包膜酸化剂 Coated acidifier	0.051	0.525	0.375	0.036	0.343	0.541
	小肽螯合铁×包膜酸化剂 Small peptide chelate iron×coated acidifier	0.121	0.579	0.762	0.096	0.631	0.554
第 6 周 The 6th week							
A		111.57^{b}	87.30^{b}	2.04^{ab}	61.38^{b}	0.37^{abc}	67.47^{ab}
B		116.67^{ab}	96.63^{a}	1.91^{b}	63.84^{ab}	0.39^{ab}	68.01^{ab}
C		111.60^{b}	88.41^{ab}	2.04^{ab}	65.27^{a}	0.36^{bc}	70.25^{ab}
D		113.60^{b}	83.27^{b}	2.19^{a}	65.93^{a}	0.35^{c}	61.93^{b}
E		111.36^{b}	85.61^{b}	2.12^{ab}	62.94^{ab}	0.36^{bc}	73.80^{a}
F		114.13^{b}	91.83^{ab}	1.99^{ab}	64.50^{ab}	0.40^{a}	74.84^{a}
G		121.77^{a}	92.46^{ab}	2.13^{ab}	65.35^{a}	0.39^{ab}	73.61^{a}
H		112.06^{b}	92.06^{ab}	1.95^{ab}	62.54^{ab}	0.38^{abc}	67.96^{ab}
SEM		2.33	3.10	0.08	1.17	0.01	3.53

	小肽螯合铁 Small peptide chelate iron	0.153	0.094	0.298	0.092	0.016	0.166
P 值 *P*-value	包膜酸化剂 Coated acidifier	0.403	0.490	0.993	0.520	0.041	0.024
	小肽螯合铁×包膜酸化剂 Small peptide chelate iron×coated acidifier	0.202	0.142	0.444	0.142	0.007	0.041

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡蛋黄中铁、锌、铜和锰元素含量的影响

由表 3 可知，小肽螯合铁及包膜酸化剂和小肽螯合铁的交互作用对第 3 周和第 6 周末蛋鸡蛋黄中铁元素含量有极显著影响（P<0.01）。B、C、D、F、G 和 H 组第 3 周和第 6 周末蛋黄中铁元素含量极显著高于 A 和 E 组（P<0.01），且 H 组第 3 周末蛋黄中铁元素含量极显著高于 B 和 F 组（P<0.01）；H 组第 3 周末蛋黄中锌元素含量显著高于 F 组（P<0.05），B 组第 6 周末蛋黄中锌元素含量显著高于 D 组（P<0.05）。

表 3 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡蛋黄中铁、锌、铜和锰元素含量的影响

Table 3 Effects of coated acidifier and small peptide chelate iron on contents of iron, zinc, copper and manganese in egg yolk of laying hens mg/kg

组别 Groups	铁 Fe	锌 Zn	铜 Cu	锰 Mn
第 3 周 The 3rd week				
A	65.13^{Cb}	41.04^{ab}	3.47	1.09
B	109.63^{Ba}	43.15^{ab}	3.16	0.95
C	113.15^{ABa}	40.31^{ab}	3.70	1.23
D	119.36^{ABa}	40.39^{ab}	3.00	1.19

E		74.12^{Cb}	38.32^{ab}	3.24	0.84
F		108.92^{Ba}	35.06^{b}	2.94	1.18
G		112.67^{ABa}	41.48^{ab}	2.90	1.09
H		122.17^{Aa}	47.05^{a}	3.28	0.92
SEM		2.83	3.48	0.56	0.15
P 值 *P*-value	小肽螯合铁 Small peptide chelate iron	<0.001	0.596	0.939	0.844
	包膜酸化剂 Coated acidifier	0.138	0.757	0.613	0.230
	小肽螯合铁×包膜酸化剂 Small peptide chelate iron×coated acidifier	<0.001	0.735	0.954	0.747
第 6 周 The 6th week					
A		63.73^{Bb}	45.78^{ab}	3.35	1.10
B		113.81^{Aa}	51.58^{a}	2.90	0.93
C		116.20^{Aa}	46.18^{ab}	3.19	1.22
D		116.60^{Aa}	41.99^{b}	2.60	1.22
E		72.99^{Bb}	43.80^{ab}	2.97	1.01
F		114.62^{Aa}	43.43^{ab}	3.20	1.54
G		116.21^{Aa}	50.92^{ab}	2.72	1.28
H		122.68^{Aa}	48.01^{ab}	3.67	0.93
SEM		3.53	3.07	0.57	0.21
P 值 *P*-value	小肽螯合铁 Small peptide chelate iron	<0.001	0.439	0.959	0.743
	包膜酸化剂 Coated acidifier	0.077	0.997	0.666	0.728
	小肽螯合铁×包膜酸化剂 Small peptide chelate iron×coated acidifier	<0.001	0.598	0.973	0.852

2.3 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡血清免疫和抗氧化指标的影响

由表 4 可知，包膜酸化剂对蛋鸡血清中 T-SOD 活性有极显著影响（$P<0.01$），对血清 MDA 含量有显著影响（$P<0.05$）；包膜酸化剂和小肽螯合铁的交互作用对血清 T-SOD 活性有极显著影响（$P<0.01$）。C 组血清 IgM 含量显著高于对照组（$P<0.05$），D、E、F、G 和 H 组血清 T-SOD 活性极显著高于对照组（$P<0.01$）；B、F 和 G 组血清 MDA 含量显著低于对照组和 E 组（$P<0.05$）。

表 4 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡血清免疫和抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of coated acidifier and small peptide chelate iron on serum immune and antioxidant indices of laying hens

组别 Groups		免疫球蛋白A IgA/(μg/mL)	免疫球蛋白G IgG/(μg/mL)	免疫球蛋白M IgM/（μg/mL）	谷胱甘肽过氧化酶 GSH-Px/(mU/mL)	总抗氧化能力 T-AOC/(mmol/mL)	总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	丙二醛 MDA/(mmol/mL)
A		44.40	507.55	36.53^{b}	190.24	10.21	16.59^{Cc}	2.20^{a}
B		43.78	511.18	38.62^{ab}	183.83	11.11	18.13^{BCbc}	1.15^{b}
C		44.42	537.89	39.62^{a}	212.04	11.76	20.96^{ABCbc}	1.85^{ab}
D		39.25	530.42	38.62^{ab}	189.83	9.36	26.20^{Aab}	1.90^{ab}
E		43.50	489.82	37.52^{ab}	206.21	9.15	28.62^{Aa}	2.12^{a}
F		43.68	482.95	37.18^{ab}	194.48	12.57	26.67^{Aab}	1.02^{b}
G		42.89	479.39	38.12^{ab}	196.20	11.09	22.92^{ABab}	1.22^{b}
H		44.79	507.44	37.13^{ab}	170.79	10.43	25.37^{ABab}	1.84^{ab}
SEM		2.27	25.09	0.82	19.56	1.01	1.83	0.16
P 值 *P*-value	小肽螯合铁 Small peptide chelate iron	0.820	0.106	0.185	0.368	0.201	0.438	0.105
	包膜酸化剂 Coated acidifier	0.641	0.771	0.147	0.652	0.871	0.006	0.037
	小肽螯合铁×包膜酸化剂 Small peptide chelate iron×coated acidifier	0.885	0.436	0.147	0.496	0.315	＜0.001	0.077

3 讨 论

3.1 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡生产性能的影响

酸化剂作为一种健康无残留的饲料添加剂，通过改善胃肠道形态和功能，保障了动物的胃肠道健康和生产性能[5-6]。魏艳红等[16]研究发现，饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 包膜复合酸化剂均显著提高东乡绿壳蛋鸡的产蛋率，显著降低料蛋比，添加 250 mg/kg 包膜复合酸化剂显著提高鸡蛋的蛋黄指数。陈杰等[17]研究发现，饲粮中添加 1.5 g/kg 酸化剂显著降低试验第 49 天产蛋高峰期“京红 1 号”蛋鸡的采食量和料蛋比，对蛋品质无显著影响。Gül 等[18]研

究却发现有机酸（OA）对罗曼蛋鸡的生产性能无显著影响。本试验研究发现，包膜酸化剂对第 3 周末蛋鸡的蛋重、第 6 周末的蛋黄指数和哈氏单位有显著影响，说明包膜酸化剂促进了营养物质在罗曼粉壳鸡蛋中的沉积，提高了鸡蛋的新鲜度，有利于鸡蛋在夏季长期保存，与魏艳红等[16]和 Kaya 等[19]的研究结果相一致。

氨基酸螯合铁作为新型铁元素添加剂，能为动物同时补充氨基酸和铁元素，有利于提高家禽的生产性能和饲料利用率[20-22]。Inkee 等[7]以 65 周龄海兰褐蛋鸡为研究对象，在饲粮（含 52.5 mg/kg 无机铁）中添加蛋氨酸螯合铁（Fe-Met）和铁螯合大豆肽（Fe-SP）2 种铁源，发现添加 100 mg/kg Fe-Met 35 d 后日产蛋率显著降低，料蛋比显著提高，100 和 200 mg/kg Fe-SP 组的蛋重和哈氏单位均显著提高。Bess 等[23]研究发现饲粮中添加肉骨粉和氨基酸螯合铁对肉种鸡的产蛋量无显著影响。本试验结果表明，小肽螯合铁对第 6 周末蛋鸡的蛋黄指数有显著影响，小肽螯合铁和包膜酸化剂的交互作用对第 6 周末的蛋黄指数和哈氏单位有显著影响，提高了鸡蛋新鲜度，从而改善了蛋品质，复合添加 300 mg/kg 包膜酸化剂和 0.04%小肽螯合铁效果最佳。单独添加 0.08%和 0.12%小肽螯合铁及复合添加 300 mg/kg 包膜酸化剂和 0.08%小肽螯合铁显著提高了第 6 周末的蛋重，与 Inkee 等[7]结论相一致，可能是由于包膜酸化剂和小肽螯合铁协同促进了蛋白质的分泌和营养成分的沉积而不影响鸡蛋的蛋品质。包膜酸化剂和小肽螯合铁及其交互作用对蛋鸡的产蛋性能无显著影响，但有一定的积极作用，单独添加 0.04%小肽螯合铁显著提高了第 6 周的产蛋率，降低了料蛋比，说明夏季产蛋鸡饲粮中宜添加 0.04%的小肽螯合铁，有利于维持和延长其产蛋高峰期、减缓产蛋率下降速度。此外，复合添加 300 mg/kg 包膜复合酸化剂和 0.08%小肽螯合铁，因改善了饲粮的适口性，显著提高了平均日采食量。

3.2 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡蛋黄中微量元素含量的影响

鸡体内矿物质元素代谢十分复杂，受到饲粮因素和非营养因素的影响，从而影响蛋的营养成分和食用价值以及种蛋的孵化率和健雏率。关于铁元素添加剂在蛋中富集的研究颇多，但对其富集规律的探讨极少。Bess 等[23]研究发现，饲粮中添加氨基酸螯合铁可显著提高 33~38 周龄和 39~42 周龄肉种鸡蛋黄中的铁元素含量，但 43~46 周龄时蛋黄中铁元素含量不再继续增加。Inkee 等[7]研究发现，100 mg/kg Fe-SP 组第 5 周蛋鸡蛋黄中铁元素含量显著提高，Fe-SP 和 Fe-Met 2 种铁源对蛋黄中铁元素含量无显著影响，但显著提高蛋黄中锌元素含量。唐胜球等[24]研究也发现甘氨酸螯合铁显著提高了蛋黄中铁元素含量。本试验结果表明，

小肽螯合铁及包膜酸化剂和小肽螯合铁的交互作用对第3周和第6周末蛋鸡蛋黄中铁元素含量有极显著影响，对蛋黄中锌、铜和锰元素含量无显著影响，与 Bess 等[23]和 Inkee 等[7]的研究结果基本一致。试验第 3 周末蛋黄中铁元素含量随饲粮中小肽螯合铁添加水平的增加呈线性增加，到第 6 周末蛋黄中铁元素含量随着小肽螯合铁添加水平的增加先显著增加后保持稳定。可能是因为小肽螯合铁以小肽的形式被肠道黏膜快速吸收，故不影响饲粮中其他微量元素的吸收；饲粮中其他形式的微量元素之间存在拮抗作用，吸收利用率小。但随着饲粮中小肽螯合铁添加水平的增加，蛋黄中铁元素的沉积量不再继续增加而保持稳定，分析其原因，一方面是由于蛋鸡自身对小肽螯合铁吸收利用的调控，肝脏等组织器官中铁元素沉积量增多，影响了铁在蛋中的富集程度；另一方面可能是由于肠道黏膜存在一种机制控制了小肽螯合铁转运吸收的数量，但小肽螯合铁转运载体基因的表达和功能调节相关的分子机制还不清楚，有待于进一步研究[25]。仅从蛋黄中铁元素的富集角度考虑，饲粮中小肽螯合铁的添加量为 0.04%和 0.08%时，与包膜酸化剂协同促进蛋黄中铁元素的富集。

3.3 包膜酸化剂和小肽螯合铁对蛋鸡血清免疫和抗氧化指标的影响

家禽体内主要的 3 种免疫球蛋白为 IgA、IgG 和 IgM。GSH-Px、T-SOD 和过氧化氢酶（CAT）是细胞内的抗氧化酶，协同清除氧自由基的堆积，减少脂质过氧化物的产生，保护细胞的结构和功能。MDA 是过氧化脂质降解的产物，反映体内脂质过氧化程度，间接反映细胞受损程度。本试验选择正值高温多雨的夏季，鸡舍温度超过 30 ℃，湿度和氨气浓度较高，影响了蛋鸡的健康水平和生产性能。本试验发现，包膜酸化剂对蛋鸡血清中 T-SOD 活性有极显著影响，对血清 MDA 含量有显著影响，与魏艳红等[16]在东乡绿壳蛋鸡上的研究结果一致。单独添加 0.12%小肽螯合铁显著提高了血清中 T-SOD 活性，与 Shi 等[26]在肉仔鸡饲粮中添加甘氨酸螯合铁提高了血清 CAT 活性和 Ma 等[20]在肉仔鸡饲粮中添加甘氨酸螯合铁显著提高了肝脏中铜锌超氧化歧化酶（CuZn-SOD）活性的研究相似，均通过提高抗氧化酶活性来增强机体抗氧化能力。单独添加 0.04%小肽螯合铁以及复合添加 300 mg/kg 包膜酸化剂和 0.04%和 0.08%小肽螯合铁均显著降低了血清 MDA 含量，说明包膜酸化剂和小肽螯合铁协同提高了夏季产蛋鸡的抗氧化应激水平。饲粮中单独添加 0.08%小肽螯合铁显著提高了血清 IgM 含量，试验各组血清中 IgA 和 IgG 含量均无显著差异，说明包膜酸化剂和小肽螯合铁及其交互作用不影响产蛋期蛋鸡的正常免疫水平。

4 结 论

①单独添加 300 mg/kg 包膜酸化剂有利于改善夏季产蛋鸡鸡蛋的新鲜度，提高机体抗氧化能力。

②综合考虑，饲粮中单独添加 0.04%和 0.08%小肽螯合铁或与 300mg/kg 包膜酸化剂复合添加，均有利于维持和延长夏季产蛋鸡的产蛋高峰期，改善蛋品质，增加蛋中铁元素的富集，增强机体抗氧化水平。

参考文献：

[1] 孙冰锋.酸化剂、益生素及其组合添加对肉仔鸡的影响及作用机理研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2005.

[2] HASHEMI S R,ZULKIFLI I,DAVOODI H,et al.Growth performance,intestinal microflora,plasma fatty acid profile in broiler chickens fed herbal plant (*Euphorbia hirta*) and mix of acidifiers[J].Animal Feed Science and Technology,2012,178(3/4):167–174.

[3] BONOS E,CHRISTAKI E,ABRAHIM A,et al.The influence of mannan oligosaccharides,acidifiers and their combination on caecal microflora of Japanese quail (*Coturnix japonica*)[J].Anaerobe,2011,17(6):436–439.

[4] 周岭.饲喂酸化剂和微生态制剂改善蛋鸡健康和降低沙门氏菌阳性率的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2015.

[5] 罗玲,曲湘勇,韩奇鹏,等.酸化剂对畜禽胃肠道作用和免疫机理的研究进展[J].饲料博览,2015(10):49–52.

[6] 窦晓利.复合酸化剂对夏季蛋鸡生产性能的影响及作用机理研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2004.

[7] INKEE P,HANKYU L,SEWON P.Effects of organic iron supplementation on the performance and iron content in the egg yolk of laying hens[J].The Journal of Poultry Science,2009,46(3):198–202.

[8] 屠友金,邹晓庭,唐胜球.日粮中不同铁源对罗曼蛋鸡产蛋性能以及蛋品质的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2004,30(5):561–566.

[9] 蔡辉益,文杰,杨禄良,译.家禽营养需要(NRC,1994)[M].北京：中国农业科技出版

社,1994:28.

[10] DANIEL H.Molecular and integrative physiology of intestinal peptide transport[J].Annual Review of Physiology,2004,66:361–384.

[11] 苏纯阳,董仲华,香红星.微量元素氨基酸(小肽)螯合物的研究应用进展[J].饲料工业,2002,23(1):15–18.

[12] 罗玲,韩奇鹏,曲湘勇.氨基酸螯合铁在猪和家禽生产中的应用研究进展[J].饲料博览,2015(12):35–40.

[13] 文杰,蔡辉益,呙于明,等.NY/T 33-2004,鸡饲养标准[M].北京:中国标准出版社,2005:11-12.

[14] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.GB/T 5009.90–2003 食品中铁、镁、锰的测定[S].北京:中国标准出版社,2004.

[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 9695.20–2008 肉与肉制品锌的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.

[16] 魏艳红,曲湘勇,蔡超,等.包膜复合酸化剂对东乡绿壳蛋鸡生产性能、矿物元素代谢及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1222–1229.

[17] 陈杰,沈一茹,张珊,等.酸化剂对蛋鸡产蛋性能、蛋品质和经济效益的影响[J].中国家禽,2015,37(8):58–60.

[18] GÜL M,TUNÇ M A,CENGIZ S,et al.Effect of organic acids in diet on laying hens' performance,egg quality indices,intestinal microflora,and small intestinal villi height[J].European Poultry Science,2014,78,doi:10.1399/eps.2013.5.

[19] KAYA A,KAYA H,GÜL M,et al.Effect of different levels of organic acids in the diets of hens on laying performance,egg quality criteria,blood parameters,and intestinal histomorphology[J].Indian Journal of Animal Research,2015,49(5):645–651.

[20] MA W Q,SUN H,ZHOU Y,et al.Effects of iron glycine chelate on growth,tissue mineral concentrations,fecal mineral excretion,and liver antioxidant enzyme activities in broilers[J].Biological Trace Element Research,2012,149(2):204–211.

[21] KULKARNI R C,SHRIVASTAVA H P,MANDAL A B,et al.Assessment of growth performance,immune response and mineral retention in colour broilers as influenced by

dietary iron[J].Animal Nutrition and Feed Technology,2011,11(1):81–90.
[22] 唐圣果,曲湘勇,张丽,等.甘氨酸亚铁对绿壳蛋鸡生产性能和蛋黄中铁沉积量的影响[J].中国饲料,2012(24):21–23.
[23] BESS F,VIEIRA S L,FAVERO A,et al.Dietary iron effects on broiler breeder performance and egg iron contents[J].Animal Feed Science and Technology,2012,178(1/2):67–73.
[24] 唐胜球,董小英,邹晓庭,等.不同形式铁对鸡蛋铁含量及相关生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2005,41(1):6–8.
[25] 黄薪蓓,许庆彪,刘建新.肠道氨基酸和小肽转运载体的基因表达、影响因素与分子调控机制[J].动物营养学报,2015,27(1):21–27.
[26] SHI R,LIU D,SUN J,et al.Effect of replacing dietary $FeSO_4$ with equal Fe-levelled iron glycine chelate on broiler chickens[J]. Czech Journal of Animal Science,2015,60(5):233–239.

Effects of Coated Acidifier and Small Peptide Chelate Iron on Performance, Contents of Trace Elements in Egg Yolk and Immune and Antioxidant Indices in Serum of Laying Hens in Summer

LUO Ling[1] QU Xiangyong[1*] HAN Qipeng[1] CAO Dongmei[2] SUN Anquan[2]

（1. *Collaborative Innovation Center of Hunan Province Livestock and Poultry Safety Production, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*; 2. *Omega Biotechnology Shanghai Co., Ltd., Shanghai* 201203, *China)*

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of coated acidifier, small peptide chelate iron and their interaction on performance, the contents of trace elements in egg yolk and immune and antioxidant indices in serum of laying hens in egg laying peak in summer. Five hundred and seventy-six healthy Roman pink-shell laying hens at 38-week-old were randomly allotted to eight groups with six replicates per group and twelve hens per replicate according a 2×4 factorial completely randomized design with two supplemental levels of coated acidifier and four supplemental levels of small peptide chelate iron in the basal diets. The hens in groups A, B, C and D were fed the basal diet supplemented with 0 mg/kg coated acidifier and 0 (control group),

*Corresponding author, professor, E-mail: quxy99@126.com (责任编辑　李慧英)

0.04%, 0.08% and 0.12% small peptide chelate iron (the content of Fe was 0, 60, 120 and 180 mg/kg, respectively), and those in groups E, F, G and H were fed the basal diet supplemented with 300 mg/kg coated acidifier and 0, 0.04%, 0.08% and 0.12% small peptide chelate iron (the content of Fe was 0, 60, 120 and 180 mg/kg, respectively). The pre-test lasted for one week, and the experiment lasted for six weeks. The results showed as follows: 1) coated acidifier, small peptide chelate iron and their interaction had no significant effects on average daily feed intake (ADFI), laying rate and the ratio of feed to egg of laying hens at the 3rd and 6th weeks (P>0.05). ADFI in group G was significantly higher than that in the control group and groups C and D at the 3rd and 6th weeks (P<0.05), laying rate in group B was significantly higher than that in the control group and groups D and E at the 6th week (P<0.05), and the ratio of feed to egg in group B was significantly lower than that in group D at the 6th week (P<0.05). Coated acidifier had significant effects on egg weight at end of the 3rd week and egg yolk index and Haugh unit at end of the 6th week of laying hens (P<0.05), small peptide chelated iron had significant effect on egg yolk index at the end of the 6th week (P<0.05), and their interaction had significant effects on the egg yolk index (P<0.01) and Haugh unit (P<0.05) at end of the 6th week. At end of the 3rd week, egg weight in group G was significantly higher than that in group B (P<0.05), and egg yolk index in groups G and H was significantly higher than that in group C (P<0.05). At end of the 6th week, egg weight in groups C, D and G was significantly higher than that in the control group (P<0.05), egg yolk index in group F was significantly higher than that in groups C, D and E (P<0.05), and Haugh unit in groups E, F and G was significantly higher than that in group D (P<0.05). 2) Small peptide chelated iron and the interaction of coated acidifier and small peptide chelated iron had significant effect on the content of iron in egg yolk of laying hens at end of the 3rd and 6th weeks (P<0.01). The content of iron in egg yolk in groups B, C, D, F, G and H was significantly higher than that in the control group and group E at end of the 3rd and 6th weeks (P<0.01), the content of iron in egg yolk in group H was significantly higher than that in groups B and F (P<0.01) and the content of zinc in egg yolk in group H was significantly higher than that in group F (P<0.05) at end of the 3rd week, and the content of zinc in egg yolk in group B was significantly higher than that in group D

at end of the 6th week (P<0.05). 3) Coated acidifier had significant effects on the activity of total superoxide dismutase (T-SOD) (P<0.01) and the content of malondialdehyde (MDA) (P<0.05) in serum of laying hens, and the interaction of coated acidifier and small peptide chelated iron had significant effects on the activity of T-SOD in serum (P<0.01). The content of immunoglobulin M (IgM) in serum in group C was significantly higher than that in the control group (P<0.05), the activity of T-SOD in serum in groups D, E, F, G and H was significantly higher than that in the control group (P<0.01), and the content of MDA in serum in groups B, F and G was significantly lower than that in the control group and group E (P<0.05). In conclusion, dietary 0.04% and 0.08% small peptide chelated iron alone or combined with 300 mg/kg coated acidifier is benefit to maintaining and extending the egg laying peak of laying hens in summer, improving egg quality, enrichment of iron in egg and enhancing antioxidant capacity.

Key words: laying hens; coated acidifier; small peptide chelate iron; performance; the contents of trace elements in egg yolk; immune and antioxidant indices